Absorption par une arête: filtrage de rayons X

Objectifs expérimentaux

- Tracé du spectre non filtré et du spectre filtré par une feuille d'absorption en zirconium d'un tube à rayons X avec anode en molybdène.
- Comparaison des intensités des raies caractéristiques dans le spectre non filtré et dans le spectre filtré.

Notions de base

L'intensité du rayonnement X est atténuée au passage à travers la matière par absorption et diffusion des quanta de rayonnement X, l'absorption étant souvent la forme d'atténuation qui domine. Elle est essentiellement basée sur l'ionisation d'atomes qui cèdent un électron d'une couche électronique intérieure, par ex. de la couche K. Cela suppose que l'énergie quantique

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \qquad \text{(I)}$$

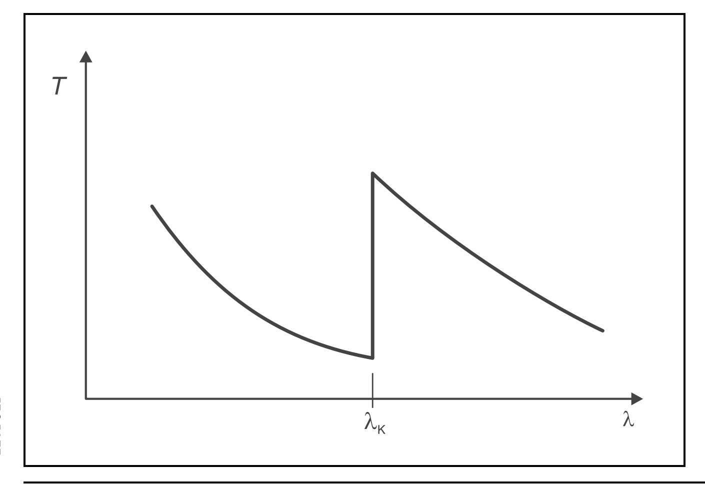
h: constante de Planck,
c: vitesse de la lumière

est plus grande que l'énergie de liaison E_K de la couche. La transmission

$$T = \frac{R}{R_0} \qquad \text{(II)}$$

R: intensité derrière l'atténuateur
R_0: intensité devant l'atténuateur

Fig. 1 Représentation schématisée de la transmission d'un atténuateur en fonction de la longueur d'onde du rayonnement X



du matériau augmente donc brusquement en fonction de la longueur d'onde pour

$$\lambda_K = \frac{h \cdot c}{E_K} \qquad \text{(III).}$$

Le changement brusque est caractérisé d'arête d'absorption, en l'occurrence, d'arête d'absorption K.

Il faut distinguer de l'arête d'absorption K le rayonnement X caractéristique K_α et K_β émis par des atomes excités au passage d'un électron d'une couche supérieure à la couche K (voir expériences P6.3.3.1 et P6.3.3.4). On a

$$\lambda(K_\alpha) = \frac{h \cdot c}{E_K - E_L} \text{ et } \lambda(K_\beta) = \frac{h \cdot c}{E_K - E_M} \qquad \text{(IV),}$$

d'où le fait que λ_K est en dessous de $\lambda(K_\alpha)$ et $\lambda(K_\beta)$. Ces trois grandeurs dépendent toutes du numéro atomique *Z* des atomes absorbants ou émetteurs.

Tab. 1: Longueurs d'onde $\lambda(K_\alpha)$, $\lambda(K_\beta)$ et λ_K pour les numéros atomiques *Z* = 40–42.

Elément	*Z*	$\frac{\lambda(K_\alpha)}{pm}$	$\frac{\lambda(K_\beta)}{pm}$	$\frac{\lambda_K}{pm}$
Zr	40	78,74	70,05	68,88
Nb	41	74,77	66,43	65,31
Mo	42	71,08	63,09	61,99

Le tab. 1 donne un choix de données littéraires appropriées [1]. La longueur d'onde du rayonnement K_β du molybdène est en dessous de l'arête d'absorption K λ_K du zirconium, celle du rayonnement K_α est juste au dessus. Le rayonnement K_α du molybdène n'est donc que faiblement atténué dans une feuille d'absorption en zirconium alors que le rayonnement K_β du molybdène est fortement absorbé. Des feuilles d'absorption en zirconium permettent de filtrer le rayonnement X caractéristique d'une anode en molybdène de manière à avoir un rayonnement quasiment monochromatique derrière la feuille.





Matériel

1 appareil à rayons X 554 811

1 tube compteur à fenêtre
pour rayonnements α, β, γ et X 559 01

Supplément:

1 PC avec Windows 95/98 ou Windows NT

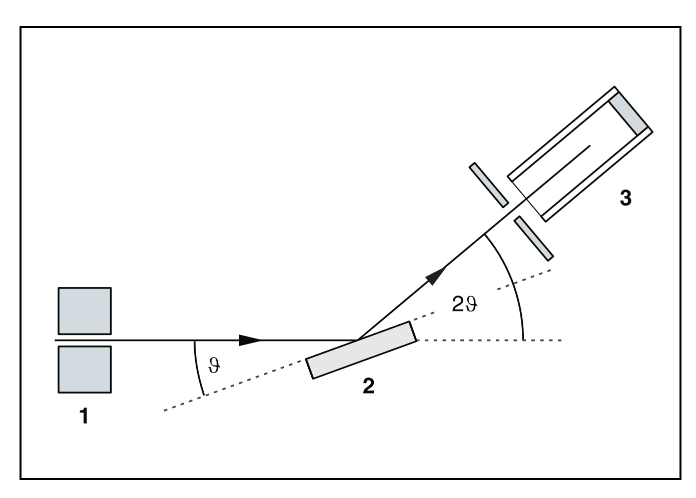


Fig. 2 Schéma de principe pour la diffraction de rayons X sur un monocristal et pour le couplage 2ϑ entre l'angle du tube compteur et l'angle de diffusion (angle de brillance)
1 collimateur, **2** monocristal, **3** tube compteur

Dans l'expérience, on mesure le spectre non filtré et le spectre filtré par une feuille d'absorption en zirconium du tube à rayons X avec anode en molybdène. Pour le tracé des intensités en fonction de la longueur d'onde, on utilise un goniomètre avec cristal de NaCl et un tube compteur de Geiger-Müller en disposition de Bragg. Le cristal et le tube compteur sont orientés dans un couplage 2ϑ par rapport au rayonnement X incident, c.-à-d. que le tube compteur est respectivement tourné d'un angle deux fois plus grand que celui du cristal (cf. fig. 2).

Conformément à la loi de la réflexion de Bragg, la longueur d'onde

$$\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \vartheta \qquad \text{(V)}$$

d = 282,01 pm: écartement des plans du réseau du NaCl

correspond à l'angle de diffusion ϑ dans le premier ordre de diffraction.

Conseils de sécurité

L'appareil à rayons X respecte les consignes relatives à la construction d'un appareillage à rayons X pour l'enseignement et d'un appareil à protection totale et est homologué en tant que tel (d'après le règlement allemand sur les rayonnements X).

Grâce aux mesures de protection et de blindage incorporées par le constructeur, le taux de dose hors de l'appareil est réduit à moins de 1 µSv/h, une valeur d'un ordre de grandeur correspondant à la dose d'irradiation naturelle.

- Avant la mise en service, s'assurer du bon état de l'appareil à rayons X et vérifier que la haute tension est bien coupée à l'ouverture des portes coulissantes (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).
- Tenir l'appareil à rayons X à l'abri des personnes non autorisées.

Eviter une surchauffe de l'anode dans le tube à rayons X Mo.

- A la mise en marche de l'appareil à rayons X, vérifier si le ventilateur dans la partie tube fonctionne.

Le goniomètre s'ajuste exclusivement par le biais de moteurs pas à pas électriques.

- Ne bloquer ni le bras de cible, ni le bras de capteur du goniomètre et ne pas modifier le réglage par force.

Montage

Réalisation de la disposition de Bragg:

Le montage est représenté sur la fig. 3. La marche à suivre est la suivante (voir aussi le mode d'emploi de l'appareil à rayons X):

– Placer le collimateur dans le logement du collimateur **(a)** (faire attention à la rainure de guidage).
– Fixer le goniomètre sur les barres de guidage **(d)** de manière à avoir une distance s_1 d'environ 5 cm entre le diaphragme à fente du collimateur et le bras de cible. Enficher le câble plat **(c)** pour la commande du goniomètre.
– Enlever le capuchon protecteur du tube compteur à fenêtre, placer le tube compteur à fenêtre dans le logement du capteur **(e)** et brancher le câble du tube compteur à la douille GM-Tube.
– En déplaçant le porte-capteur **(b)**, régler une distance s_2 d'environ 5 cm entre le bras de cible et le diaphragme à fente du logement pour capteur.
– Monter le porte-cible avec le plateau pour cible.
– Desserrer la vis moletée **(g)**, poser le cristal de NaCl à plat sur le plateau pour cible **(f)**, soulever prudemment le plateau pour cible avec le cristal jusqu'à la butée et serrer la vis moletée en faisant bien attention (visser bien dans l'axe).
– Eventuellement ajuster la position zéro du goniomètre (voir mode d'emploi de l'appareil à rayons X).

N.B.:

Les cristaux de NaCl sont hygroscopiques et fragiles:

Ranger le cristal dans un endroit aussi sec que possible, éviter si possible toute sollicitation mécanique sur le cristal, ne s'emparer du cristal que par les fronts.

Si le taux de comptage est trop faible, la distance s_2 entre la cible et le capteur peut être légèrement réduite mais elle ne doit pas être trop petite sous peine d'avoir une résolution angulaire du goniomètre qui ne suffirait plus pour la séparation des raies caractéristiques K_α et K_β.

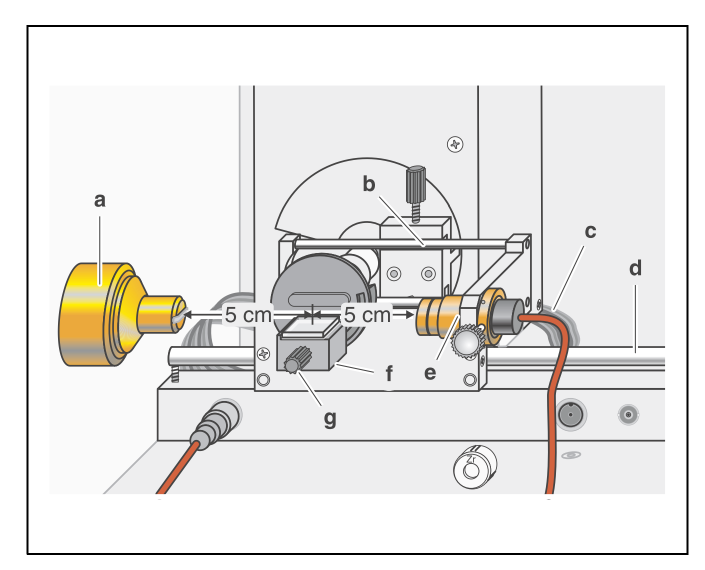


Fig. 3 Réalisation de l'expérience pour l'étude du filtrage des rayons X

Préparation de l'acquisition des valeurs mesurées avec le PC:

- Relier la sortie RS232 et le port série du PC (en principe COM1 ou COM2) via le câble V24 à 9 pôles (livré avec l'appareil à rayons X).
- Eventuellement installer le programme «Appareil à rayons X» sous Windows 9x/NT (voir le mode d'emploi de l'appareil à rayons X) puis sélectionner la langue désirée.

Réalisation

- Lancer le programme «Appareil à rayons X», s'assurer que l'appareil à rayons X est bien branché et éventuellement effacer les données de mesure existantes avec le bouton ou la touche F4.
- Sélectionner une haute tension du tube U = 30,0 kV, un courant d'émission I = 1,00 mA et un pas de progression angulaire $\Delta\beta$ = 0,1°.
- Activer le bouton-poussoir Coupled pour le couplage 2ϑ de la cible et du capteur puis régler la valeur limite inférieure de l'angle de la cible sur 4,2° et la valeur limite supérieure sur 8,3°.
- Choisir Δt = 5 s comme temps de mesure par pas angulaire.
- Actionner le bouton-poussoir SCAN pour lancer la mesure et le transfert de données vers le PC.
- Lorsque le balayage (Scan) est terminé, monter la feuille d'absorption en zirconium livrée avec l'appareil à rayons X sur le logement du capteur **(e)** du goniomètre et lancer une autre mesure avec le bouton-poussoir SCAN.
- Une fois les mesures terminées, enregistrer la série de mesures sous un nom approprié avec le bouton ou la touche F2.
- Pour la représentation des données mesurées en fonction de la longueur d'onde λ ouvrir la fenêtre de dialogue «Réglages» avec le bouton ou la touche F5 et cliquer sur «Inscrire NaCl» après avoir sélectionné le registre «Cristal».

Exemple de mesure

(voir Fig. 4)

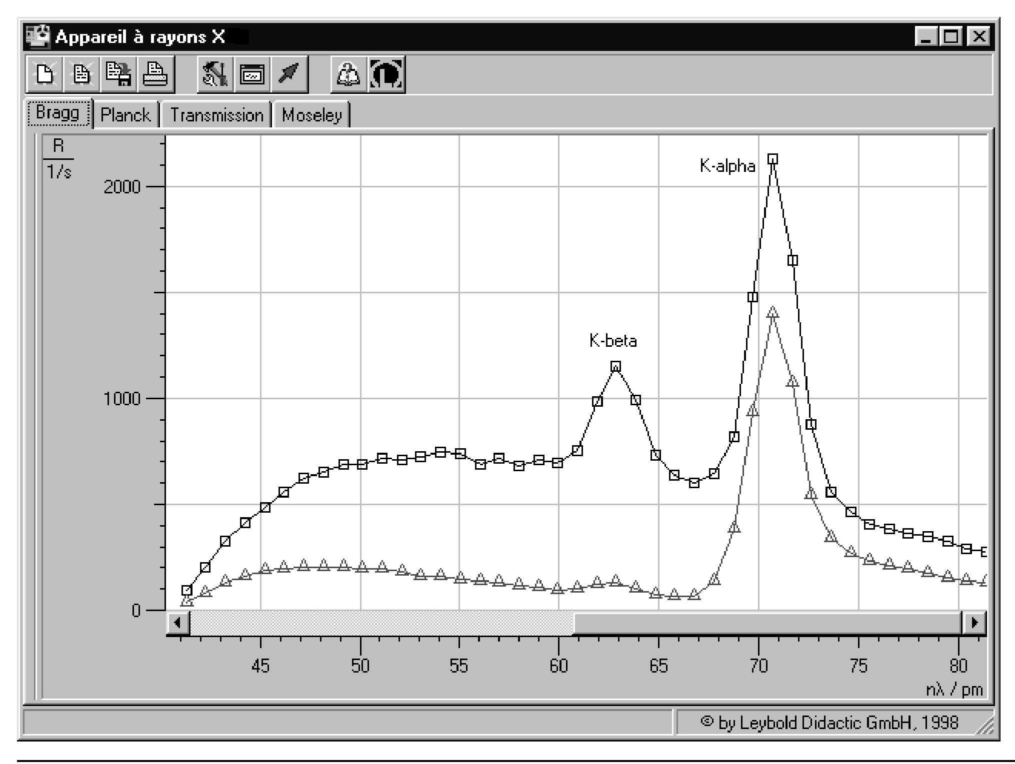


Fig. 4 Spectre de diffraction du rayonnement X avec les raies caractéristiques de l'anode en molybdène dans la gamme de longueurs d'onde allant de 40 à 80 pm (U = 30 kV)
Carrés: sans atténuation
Triangles: avec atténuation dans la feuille d'absorption en zirconium

Exploitation

- Appeler les possibilités d'exploitation du programme «Appareil à rayons X» en cliquant avec le bouton droit de la souris et sélectionner le point du menu «Calcul intégral».
- Avec le bouton gauche de la souris, marquer successivement les pics des raies caractéristiques et relever leur taux de comptage intégral R_i au coin en bas à gauche de la fenêtre du graphe.
- Calculer la part V du rayonnement K_β intervenant dans le rayonnement caractéristique total.

$$V = \frac{R_i(K_\beta)}{R_i(K_\alpha) + R_i(K_\beta)}$$

Tab. 2: Taux de comptage intégral des raies caractéristiques et part respective de la raie K_β

	$\frac{R_i(K_\alpha)}{s^{-1}}$	$\frac{R_i(K_\beta)}{s^{-1}}$	V
sans filtre de Zr	4586	1288	0,22
avec filtre de Zr	3897	137	0,034

Résultat

La part du rayonnement K_β dans le rayonnement caractéristique de l'anode en molybdène est réduite par l'utilisation de la feuille d'absorption en zirconium. Cela signifie que:

le rayonnement caractéristique de l'anode en molybdène est presque monochromatisé par absorption dans une feuille d'absorption en zirconium.

Bibliographie

[1] C. M. Lederer and V. S. Shirley, Table of Isotopes, 7th Edition, 1978, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

LD DIDACTIC GmbH · Leyboldstrasse 1 · D-50354 Hürth · Phone (02233) 604-0 · Telefax (02233) 604-222 · E-mail: info@ld-didactic.de